

Search for + pentaquark using a hadron beam at J-PARC

著者	白鳥 昂太郎
number	54
学位授与機関	Tohoku University
学位授与番号	理博第2604号
URL	http://hdl.handle.net/10097/56829

氏名・(本籍)	しろ どり こう たろう 白 鳥 昂太郎
学位の種類	博 士 (理 学)
学位記番号	理博第2604号
学位授与年月日	平成23年3月25日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科, 専攻	東北大学大学院理学研究科 (博士課程) 物理学専攻
学位論文題目	Search for Θ^+ pentaquark using a hadron beam at J-PARC (J-PARCにおけるハドロンビームを用いたペンタクォーク Θ^+ の探索)
論文審査委員	(主査) 教授 田 村 裕 和 教授 橋 本 治, 小 林 俊 雄, 清 水 肇 准教授 中 村 哲

論 文 目 次

1 Introduction

1.1 Exotic hadrons	1
1.2 The Θ^+ pentaquark baryon	2
1.3 Search for Θ^+ using hadron beams	6

2 Experiment

2.1 Outline	15
2.2 K1.8 beam line	19
2.3 K1.8 beam line spectrometer	24
2.4 Scattered-particle spectrometer (SKS)	31
2.5 Trigger	39
2.6 Data-acquisition system	44
2.7 Liquid hydrogen target	46
2.8 Data summary	47

3 Data Analysis

3.1 Outline	49
3.2 Analysis of π^- beam	52
3.3 Analysis of scattered particles	62
3.4 Vertex reconstruction	71
3.5 Cross section	73
3.6 Acceptance of SKS	88
3.7 Background	91
3.8 The Σ production cross section	95
3.9 Systematic errors	97

3.10 Energy precision and resolution	98
3.11 Missing mass resolution.....	107
4 Experimental results and discussion	
4.1 Missing mass spectrum of the $\pi^- p \rightarrow K^- \Theta^+$ reaction.....	109
4.2 Upper limit of production cross section	112
4.3 Discussion	116
5 Conclusion	

論文内容要旨

1 Introduction

The search for exotic hadrons is one of the important subjects in hadron physics. The Θ^+ pentaquark predicted by Diakonov *et al.* has an unusual nature of quark contents of $uudd\bar{s}$ and a narrow width. The understanding of exotic hadrons like the Θ^+ pentaquark plays an essential role to discriminate and improve the models of hadrons. The observation of Θ^+ reported by SPring-8/LEPS triggered the investigation of Θ^+ . Several experiments reported positive results immediately. On the other hand, negative results have been reported from several high-energy experiments with higher statistics. Thus, the confirmation of the existence (or non-existence) of the Θ^+ is crucially important, particularly by high statistics experiments in low energy region with hadronic reactions.

Previously, the search for Θ^+ using hadron beams was performed via the $\pi^- p \rightarrow K^- \Theta^+$ reaction in the KEK-PS E522 experiment and the $K^+ p \rightarrow \pi^+ \Theta^+$ reaction in the KEK-PS E559 experiment. In these experiments, no clear evidence for Θ^+ was found, but a hint of a Θ^+ peak with 2.6σ significance was given in the E522 data. The experiment via the $\pi^- p \rightarrow K^- \Theta^+$ reaction with high sensitivity is necessary.

The total cross section of the Θ^+ production is related to the decay width. The cross section for the width of $1 \text{ MeV}/c^2$ is expected to be amounts to less than $1 \text{ } \mu\text{b/sr}$. Thus, experimental information on the cross section is important to understand the nature of Θ^+ .

2 Experiment and analysis

The J-PARC E19 experiment was carried out at the J-PARC K1.8 beam line from October to November in 2010. This was the first experiment in the J-PARC hadron experimental facility. The experiment was proposed to confirm the existence of Θ^+ using the $\pi^- p \rightarrow K^- \Theta^+$ reaction by high-resolution spectroscopy. We measured the missing mass spectrum of the $\pi^- p \rightarrow K^- \Theta^+$ reaction with the beam momentum of $1.92 \text{ GeV}/c$. The incident momentum of the pion was measured with the K1.8 beam line spectrometer, and the momentum of the kaon was measured with the SKS spectrometer. The SKS spectrometer, which was previously used at KEK, was reconstructed for the J-PARC experiments with new detectors. This experiment was not a natural expansion of the E522 experiment but much improved in resolution and statistics. For the J-PARC E19 experiment, we used the K1.8 beam line and the SKS spectrometers both of which have an excellent momentum resolution of $\Delta p/p \sim 10^{-3}$. Using these spectrometers, the Θ^+ missing mass resolution down to $2 \text{ MeV}/c^2$

(FWHM) can be achieved.

In the present experiment, we irradiated 7.8×10^{10} π^- mesons on the liquid hydrogen target. For the calibration of the spectrometer system, the Σ^\pm production data were taken via the $\pi^\pm p \rightarrow K^\pm \Sigma^\pm$ reactions. The missing mass resolution for the Σ^\pm data was obtained to be $1.9 \text{ MeV}/c^2$ (FWHM), which corresponded to the resolution for Θ^+ of $1.4 \text{ MeV}/c^2$ (FWHM). The missing mass spectrum was corrected for the acceptance and its yield was converted to the cross section using the experimental efficiency factors. The cross section of the Σ^\pm production obtained in this experiment is consistent with the old experimental data. The missing mass spectrum of Θ^+ was also obtained and its peak was searched for in the spectrum.

3 Results and discussion

In the missing mass spectrum of the $\pi^- p \rightarrow K^- \Theta^+$ reaction, any structure corresponding to Θ^+ was not observed. Therefore, we have obtained an upper limit of the production cross section of the $\pi^- p \rightarrow K^- \Theta^+$ reaction at the beam momentum of $1.92 \text{ GeV}/c$. The upper limit of the differential cross section averaged for the scattering angle over 2° to 15° in the laboratory frame has been obtained to be $0.2 \text{ } \mu\text{b/sr}$ at the 90% confidence level in the missing mass region of $1.52\text{--}1.54 \text{ GeV}/c^2$. This limit is 15 times smaller than the KEK E522 result. From the results of the present experiment along with the previous experiment at KEK, we found the Θ^+ production cross section using hadron beams of both π^- and K^+ with beam momenta less than $2 \text{ GeV}/c$ is quite small. To explain these small cross sections, the width of Θ^+ should be possibly less than several hundred keV/c^2 . The experimental result gives a strong constraint to the production mechanism or the existence of Θ^+ .

4 Summary

We have searched for Θ^+ via $\pi^- p \rightarrow K^- X$ reaction using $1.92 \text{ GeV}/c$ π^- beam at the J-PARC K1.8 beam line. We used the K1.8 beam line spectrometer and the SKS spectrometer both of which have an excellent momentum resolution. In the missing mass spectrum, any prominent peak in the Θ^+ mass region has not been observed. The bump suggested in the previous experiment has not been observed. The high sensitivity of the present experimental result strongly constrains the production mechanism of Θ^+ , if it exists.

論文審査の結果の要旨

本論文は、近年大きな話題となっているペンタクォーク粒子 Θ^+ について、ハドロンビームによる反応で極めて高い感度で探索した研究について記述したものである。物質の基本要素ハドロンには、クォーク3個または2個からなるものしか存在していないが、クォーク5個 ($uudds$) からなるこの粒子が存在すれば物理学へのインパクトは甚大である。Spring-8 LEPSグループによる発見の報告以来、様々な肯定的、否定的実験結果が報告され、いまだに存否が確定していない。この問題に挑むには、これまで主に使われていた光子ビームでなく、ハドロンビームを使った探索が重要である。そこで、以前 KEK の実験で存在の可能性が示唆された $1.92 \text{ GeV}/c$ の π ビームを用いた $\pi^- p \rightarrow \Theta^+ K^-$ 反応により、 π と K をそれぞれ高分解能磁気スペクトロメータで分析して missing mass を求める方法により、統計精度も質量分解能も圧倒的に改善した探索を行うことにした。

実験は、稼働間もない J-PARC 加速器ハドロン実験施設の最初の実験として行われた。白鳥氏は、この新施設での基幹的装置となる K1.8 ビームラインと SKS 超伝導電磁石を用いたスペクトロメータ系の建設に参画し、特に SKS スペクトロメータの設計、検出器の製作・設置と、データ解析プログラムの開発等を行い、ビームを使ってスペクトロメータ系の性能確認を行った。 $\pi^+ p \rightarrow \Sigma^+ K^+$, $\pi^- p \rightarrow \Sigma^- K^+$ 反応を用いたテスト実験によって、K1.8/SKS スペクトロメータ系は期待通りの十分な質量分解能をもつことが判明した。また、 Σ^+ , Σ^- の生成断面積は過去の測定値に一致し、装置のアクセプタンスや検出・解析効率が正しく見積もられたことが示された。そして $\pi^- p \rightarrow \Theta^+ K^-$ 反応のデータを収集して詳細に解析したところ、過去の実験で報告された質量周辺には Θ^+ によるピークは観測されなかった。以前 KEK で示唆されたピークの存在を否定するとともに、この反応による Θ^+ の生成断面積の上限値 $0.2 \mu\text{b/sr}$ が得られ、従来の上限值を1ケタ下げることができた。

この結果は、 Θ^+ は存在するとしても $2 \text{ GeV}/c$ 以上のビームでしか生成できない特異な構造をもつことを示唆し、 Θ^+ の存否や構造の理解に大きな情報を与える極めて重要な意義をもつ。また本論文は、著者が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。したがって、白鳥昂太郎氏提出の博士論文は、博士（理学）の学位論文として合格と認める。